

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE, MECHANIZACE A ŘÍZENÍ
STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MACHANIZATION AND CONSTRUCTION
MANAGEMENT

Ing. JOSEF ČECH

PŘÍSPĚVEK K REALIZACI NÁKLADOVĚ A
ENERGETICKY ÚSPORNÝCH RODINNÝCH DOMŮ

CONTRIBUTION TO THE CONSTRUCTION OF COST AND ENERGY EFFICIENT FAMILY HOUSES

Zkrácená verze PhD. Thesis

Vědní obor :

3608V001 POZEMNÍ STAVBY

Školitel:

doc. Ing. VÁCLAV HRAZDIL, CSc.

Oponenti:

Datum obhajoby:

Klíčová slova

Betonové tvárnice, Vnitřní zateplení, Kondenzace vlhkosti, Povrchová teplota, Vzduchotěsnost, Ekonomické náklady, Emise CO₂

Keywords

Concrete blocks, Internal thermal isolation, Condensation of moisture, Surface temperature, Air permeability, Economic costs, Emission CO₂

Obsah

1	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY	5
1.1	Globální problém úspor energií	5
1.2	Energetická bilance	5
1.3	Ekonomická hlediska	5
1.4	Environmentální hlediska	6
1.5	Stávající dostupné technologie výstavby na stavebním trhu	7
2	CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE	8
2.1	Ověření tepelně technických vlastností výstavby energeticky úsporných rodinných domů z tvárnice betong s vnitřním zateplením v podmínkách ČR	8
2.2	Popis technologie výstavby s řešením technických detailů na základě vyhodnocení měření in situ a softwarových simulací	8
2.3	Vyhodnocení technologie výstavby rodinných domů s vnitřním zateplením na základě ekonomických ukazatelů	8
2.4	Stanovení dopadu technologie výstavby a užívání stavby s vnitřním zateplením na environment	9
3	ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ	10
3.1	Výběr referenčního domu a specifikace technologie výstavby	10
3.2	Měření a statistické vyhodnocení naměřených dat	10
3.3	Tepelně technická softwarová simulace chování referenční budovy	10
3.4	Kontrola obvodového pláště	11
3.5	Finanční náklady	11
3.6	Stanovení dopadu na životní prostředí	11
4	HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE	12
4.1	Betonové tvárnice Betong a vnitřní zateplení	12
4.2	Ověření tepelně technických vlastností stavby	12
4.2.1	<i>Součinitel prostupu tepla</i>	13
4.2.2	<i>Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce</i>	13
4.2.3	<i>Šíření vlhkosti konstrukcí</i>	15
4.2.4	<i>Posuzované detaily</i>	16
4.3	Měření na referenčním objektu	18
4.4	Termografická kontrola obalové konstrukce	22
4.5	Stanovení vzduchotěsnosti obálky budovy	24
4.6	Porovnání ekonomických nákladů zvolených systému zateplení	25
4.7	Stanovení dopadu na životní prostředí	28
5	ZÁVĚR	29
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDOJŮ	30
7	AUTOROVO CURRICULUM VITAE	34
8	ABSTRAKT	35

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY

1.1 GLOBÁLNÍ PROBLÉM ÚSPOR ENERGIÍ

Stavba domu, doba jeho provozu, užívání až po konečné odstranění stavby je spojena s potřebou energií. Přestože snaha o snižování energetické potřeby je stará, stejně jako stavebnictví samo, navzdory tomu se každým rokem neustále zvětšuje spotřeba energií. Na výrobu energií se používají jak neobnovitelné zdroje (uhlí, ropa, zemní plyn, uran), tak i obnovitelné zdroje (dřevo, voda, vítr, slunce). Podíl obnovitelných zdrojů v roce 2011 se v EU pohyboval pouze kolem 13 % (v ČR jen 9,4 %) [38]. Navíc při získávání energií z fosilních paliv (dřevo, uhlí, ropa, zemní plyn) dochází ke zhoršování kvality ovzduší (tvorba emisí SO_2 , NO_x , CO_2 atd.). Cílem problému úspory energií je najít takové řešení, které by vedlo ke snížení rostoucí spotřeby energií a ke snížení produkce emisí.

1.2 ENERGETICKÁ BILANCE

Při provozu stavby se energie spotřebovává na vytápění, chlazení, větrání, klimatizaci, přípravu teplé vody, osvětlení a provoz technického zařízení (vybavení) budovy. Ve vyspělých státech EU se spotřebovává více než 40 % potřebné energie na vytápění a chlazení. Domy postavené v ČR do 90 let dle platných českých technických norem spotřebovávají na vytápění až 80 % energie určené na provoz budovy [39]. Protože se státy EU zavázaly ke snižování emisí skleníkových plynů (CO_2 , CH_4 , N_2O) [32], [33], které závisí na množství spotřebované energie, dochází postupně k zpřísnování požadavků kladených na výstavbu. Hlavně po roce 1989 prošla norma ČSN 730540-2 [8] tepelná ochrana budov řadou změn. Požadavek součinitele prostupu tepla pro stěnu vnější se po pěti novelizacích snížil z hodnoty $1,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ na $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Byla vydána vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov [24] a vyhláška 406/2006 o hospodaření energií [25], které reagují na směrnici Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov [33] a stanovuje požadavky, které mají být postupně naplňovány až do roku 2020.

Hodnocením energetické náročnosti budovy se prokazuje hospodárná spotřeba energie na vytápění vlivem stavebního řešení. Energetická náročnost posuzované budovy musí být stejná, nebo menší než u budovy referenční. Posuzuje se splnění normových hodnot součinitelů prostupu tepla $U_{N,20}$ pro konstrukce oddělující prostory s rozdílnými teplotami a splněním normové požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} .

1.3 EKONOMICKÁ HLEDISKA

Na trhu je mnoho technologií a materiálů, které si může investor zvolit pro výstavbu energeticky úsporných domů. Výběr mezi nimi je poměrně obtížný. Každá technologie má své výhody i nevýhody. Z ekonomického hlediska je snaha najít takové řešení, ve kterém jsou náklady na výstavbu i provoz co nejnížší a

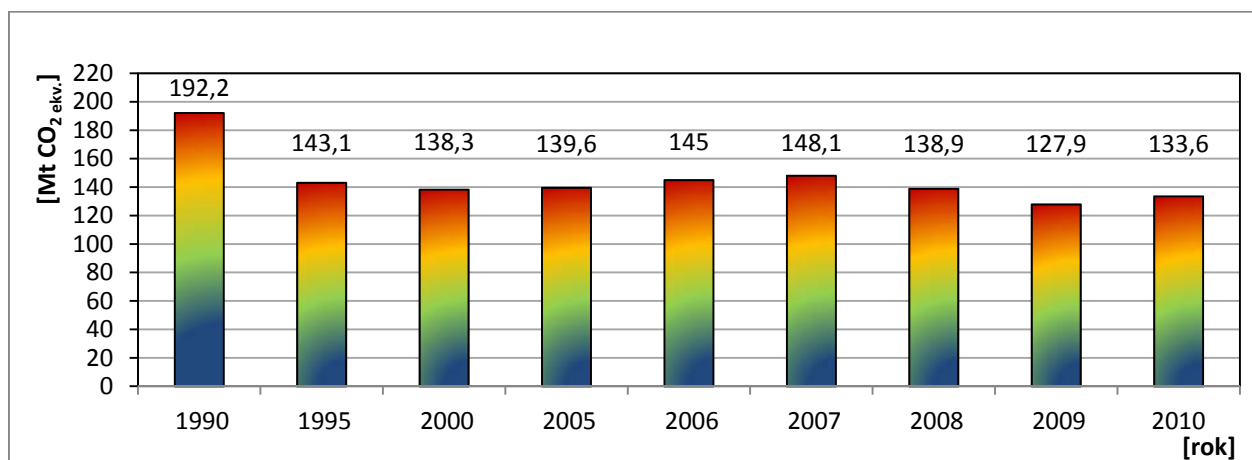
ekonomická návratnost je co nejrychlejší. Na trhu se objevují i pasivní domy, které mají velmi nízké provozní náklady, ale velmi vysoké náklady spojené se zhotovením stavby a pro velkou část obyvatelstva ČR jsou nedostupné. Cílem moderního stavitelství je najít takové materiálové a technologické řešení, které by snížilo cenu energeticky úsporných domů natolik, aby se staly přístupné pro širší veřejnost.

Provozní náklady rodinných domů ovlivňuje cena vytápění, chlazení, příprava teplé vody, větrání, osvětlení a provoz spotřebičů, která je ovlivněna cenou primárních zdrojů. Ceny primárních zdrojů neustále stoupají a zlepšují tím ekonomickou návratnost počáteční investice do energeticky úsporných domů. Největší spotřeba primárních zdrojů u rodinných domů je ve vytápění a přípravě teplé vody.

1.4 ENVIRONMENTÁLNÍ HLEDISKA

Stavebnictví v Evropské unii spotřebovává přibližně 40 % energie. Současně produkuje kolem 40 % všech odpadů a je zodpovědné za vytvoření 30 % emisí skleníkových plynů. Mezi skleníkové plyny patří CO_2 , CH_4 , N_2O , přičemž CO_2 tvoří 86 % všech skleníkových plynů. Cílem environmentálního hlediska je ochrana přírody, snižování obsahu škodlivých emisí v atmosféře a vytvoření trvale udržitelného rozvoje.

Jedním z ukazatelů, které vypovídají o environmentální vyspělosti jednotlivých států je porovnávání množství vyprodukovaného skleníkového plynu CO_2 .



Obr. 1 Celková emise skleníkových plynů v ČR v letech 1990–2010 (zdroj CHMI [36])

ČR se zavázala v Kjótském protokolu ke snižování emisí skleníkových plynů. Pro porovnávání emisí skleníkových plynů mezi jednotlivými státy byla zavedena jednotka CO_2 ekv., která obsahuje ne jenom emise CO_2 , ale jsou zde zahrnuty i emise ostatních skleníkových plynů.

K naplnění požadavků Kjótského protokolu byla schválena směrnice evropského parlamentu a rady 2010/31/EU [33] o energetické náročnosti budov.

1.5 STÁVAJÍCÍ DOSTUPNÉ TECHNOLOGIE VÝSTAVBY NA STAVEBNÍM TRHU

Na našem území měla velkou tradici výstavba rodinných domů z pálených keramických cihel. Ve snaze zlepšit tepelný odpor obvodové stěny však tradiční pálené cihly byly nahrazeny pálenými keramickými děrovanými bloky a pórobetonovými tvárnicemi.

V honbě za snižováním tepelných ztrát stávajících i nových domů postavených z keramických bloků a pórobetonových tvárnic se začala přidávat tepelná izolace na obvodovou stěnu z exteriéru. Byl vytvořen vnější tepelně izolační kompozitní systém známý pod označením „ETICS“.

Hlavně v posledních letech, kdy jdou ceny energií výrazně nahoru, a nepředpokládá se, že by začaly klesat, je velký zájem o energeticky úsporné domy, které mají nízké náklady na provoz stavby.

Jednou z nových technologií, která se objevila na našem trhu, je i výstavba domů z betonových skořepinových tvárnic se systémem vnitřního zateplení. Tato technologie výstavby má své kořeny ve Francii a je zde známa pod označením „Doublage“. Technologie se zaměřuje na výstavbu nových domů.

Technologie vnitřního zateplení nemá na území ČR žádnou tradici. Na našem území je rozšířena technologie vnějšího tepelně izolačního kompozitního systému známého pod označením ETICS. Odborníci se k převzaté technologii vnitřního zateplení staví odmítavě s odkazem na to, že ve Francii jsou jiné klimatické podmínky i rozdílné normové požadavky, a proto stavby nebudou splňovat tepelně technické požadavky platné na území ČR a bude docházet ke kondenzaci vzdušné vlhkosti v obvodové konstrukci a růstu plísní na vnitřním povrchu obvodové konstrukce.

Na naše území byl nově transferován ještě jeden systém vnitřního zateplení, ale ten je zaměřený na vnitřní zateplení historických budov. Vnitřním zateplením historických budov se zabývá firma Remmers CZ s.r.o. a na vnitřní zateplení používá tepelně izolační panel označený IQ-Therm.

2 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

2.1 OVĚŘENÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ VÝSTAVBY ENERGETICKY ÚSPORNÝCH RODINNÝCH DOMŮ Z TVÁRNIC BETONG S VNITŘNÍM ZATEPLENÍM V PODMÍNKÁCH ČR

U systému výstavby ze skořepinových betonových tvárnic se systémem vnitřního zateplení je cílem ověření tepelně-technických vlastností konstrukce dle požadavků normy ČSN 730540-2 [8] platné na území ČR. Bude posuzována nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce pomocí teplotního faktoru vnitřního povrchu, součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ pro budovy s převládající návrhovou vnitřní teplotou $\theta_m = 20\text{ °C}$, šíření vlhkosti konstrukcí pomocí kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce, roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce a vzduchotěsnost obálkové konstrukce stavby. K posouzení budou využita jak data získaná přímo na stavbě, tak data získaná pomocí softwarových simulací.

Dále bude posuzováno, zda v kritické místnosti nedochází k diskomfortu přítomných osob vlivem vyššího rozdílu teploty vzduchu mezi úrovní hlavy a kotníků, asymetrickou radiací a neustáleným stavem tepelného prostředí.

2.2 POPIS TECHNOLOGIE VÝSTAVBY S ŘEŠENÍM TECHNICKÝCH DETAILŮ NA ZÁKLADĚ VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ IN SITU A SOFWAROVÝCH SIMULACÍ

Bude proveden popis technologie výstavby z betonových skořepinových tvárnic se systémem vnitřního zateplení v podmínkách ČR.

Na základě teplotních měření a průzkumu in situ bude provedena identifikace kritických míst v konstrukci. Na kritická místa v konstrukci budou vytvořeny detaily splňující tepelně technické a technologické požadavky. Pomocí softwaru bude ověřena správnost navrhovaných detailů.

2.3 VYHODNOCENÍ TECHNOLOGIE VÝSTAVBY RODINNÝCH DOMŮ S VNITŘNÍM ZATEPLENÍM NA ZÁKLADĚ EKONOMICKÝCH UKAZATELŮ

Cílem disertační práce je vyhodnocení vhodnosti realizace nákladově a energeticky úsporných rodinných domů postavených z betonových skořepinových tvárnic Betong se systémem vnitřního zateplení Rigitherm. Na základě ekonomických ukazatelů bude výstavba z betonových skořepinových tvárnic se systémem vnitřního zateplení porovnávána s výstavbou z keramických zdících prvků a keramických zdících prvků s vnějším zateplením ETICS. Vhodnost jednotlivých domů bude posuzována na základě nákladů na zhotovení jednotlivých variant obálkové konstrukce stavby.

2.4 STANOVENÍ DOPADU TECHNOLOGIE VÝSTAVBY A UŽÍVÁNÍ STAVBY S VNITŘNÍM ZATEPLENÍM NA ENVIRONMENT

V dopadu stavby na životní prostředí bude zhodnoceno, kolik ekvivalentního emisního faktoru CO₂ a SO₂ se vyprodukuje při realizaci jednotlivých variant obvodových konstrukcí. Obvodový plášť zhotovený z tvárnic Betong se systémem vnitřního zateplení bude porovnáván s obvodovým pláštěm zhotoveným z keramických zdících prvků a keramických zdících prvků s vnějším zateplením ETICS.

U referenčního domu zhotoveného z betonových tvárnic Betong se systémem vnitřního zateplení bude spočtena spotřeba primární a primární neobnovitelné energie při užívání rodinného domu pro jednotlivé varianty vnitřního zateplení.

3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

3.1 VÝBĚR REFERENČNÍHO DOMU A SPECIFIKACE TECHNOLOGIE VÝSTAVBY

Byl vybrán referenční rodinný dům, na kterém bylo prováděno měření in situ. Jde o typický nepodsklepený rodinný dům s jedním nadzemním podlažím a podkrovím. Je zastřešený sedlovou střechou vaznicového typu. Rodinný dům je zhotoven ze skořepinových betonových tvárnic Betong s aplikovaným vnitřním zateplením Rigitherm od firmy RIGIPS. Dům je samostatně stojící a je situovaný v moravskoslezské části Beskyd v obci Pržno, kde je vystaven nadprůměrným klimatickým změnám převládající na území ČR.

Vedle hlavní experimentální lokality je sledování zaměřeno také na klimaticky odlišnou lokalitu ve Veselí nad Moravou.

Podrobně byla popsána technologie výstavby rodinného domu z betonových skořepinových tvárnic Betong a následná aplikace vnitřních tepelně izolačních panelů Rigitherm .

3.2 MĚŘENÍ A STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Na referenčním domě byly kontinuálně snímány povrchové teploty obálkové konstrukce, teplota topného tělesa, teplota vzduchu v interiéru, teplota vzduchu v exteriéru, teplota vzduchu ve středu místnosti ve třech výškách na svislici, vlhkost vzduchu v interiéru, vlhkost vzduchu v exteriéru a tepelný tok přes obvodovou konstrukci. Namátkově byla prováděna kontrolní měření teplot vzduchu a povrchové vlhkosti sádkokartonové desky z interiéru. Přesnost měření byla v souladu s vyhláškou ČSN EN ISO 7726 [14]. Byly dodrženy požadované přesnosti třídy pro měření teplot a vlhkosti. Naměřené údaje byly z přístrojů přeneseny do počítače, vloženy do tabulek (program excel) a statisticky vyhodnoceny. Z vybraných dat uložených v tabulkách byly vyhotoveny grafické výstupy.

3.3 TEPELNĚ TECHNICKÁ SOFTWARE SIMULACE CHOVÁNÍ REFERENČNÍ BUDOVY

Na vytvoření simulace tepelně technického chování budovy byl použit software stavební fyzika (Area, Teplo, Cube3D). V programu Teplo bylo provedeno 1D posouzení obálkové konstrukce stavby. V programu Area bylo provedeno posouzení 2D detailů. V programu Cube3D bylo provedeno posouzení 3D detailu spojení dvou obvodových stěn a stropní konstrukce.

Výsledkem bylo stanovení součinitele prostupu tepla pro jednotlivé varianty obvodových stěn. Byly zjištěny teplotní faktory vnitřního povrchu pro posouzení povrchové kondenzace a růstu plísní. Bylo ověřeno šíření vlhkosti konstrukcí pomocí kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce, a také roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce. Fyzikální vlastnosti stavebních materiálů potřebné pro výpočet byly použity dle platné normy ČSN 73 0540-3. Hodnota difuzního odporu a objemové hmotnosti tvárnic Betong potřebná pro softwarovou

simulaci byla stanovena v laboratoři. Data spočítaná pomocí softwaru a příslušných norem byly konfrontovány s výsledky změřenými na stavbě. Grafické výstupy jednotlivých detailů znázorňují průběhy teplot, místo s nejnižším teplotním faktorem (nejnižší povrchovou teplotou), místa možné kondenzace vlhkosti v konstrukci a tepelný tok daným detailem.

3.4 KONTROLA OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ

Pomocí termografického snímkování referenčního objektu byla provedena kontrola obálky budovy. Byla kontrolována povrchová teplota obálky budovy a bylo zjišťováno, zda se v obálce budovy nenachází výrazný tepelný most.

Pomocí přístroje Blower Door byla kontrolována průvzdušnost obálky budovy a byla zjištěna celková intenzita výměny vzduchu $n_{20,N}$. Dílčí netěsnosti při zkoušce průvzdušnosti obálky budovy byly kontrolovány pomocí termokamery a anemometru.

3.5 FINANČNÍ NÁKLADY

Finanční náklady na zhotovení jednotlivých variant obálkové konstrukce rodinného domu byly stanoveny pomocí položkového rozpočtu (Kros).

Na základě ekonomických ukazatelů byla výstavba z betonových skořepinových tvárnic se systémem vnitřního zateplení porovnávána s výstavbou z keramických zdících prvků a keramických zdících prvků s vnějším zateplením ETICS. Ekonomická výhodnost jednotlivých domů byla posuzována na základě nákladů na zhotovení jednotlivých variant obálkové konstrukce stavby.

3.6 STANOVENÍ DOPADU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

V dopadu stavby na životní prostředí bylo hodnoceno, kolik ekvivalentního emisního faktoru CO_2 a SO_2 se vyprodukuje podle metodiky Live Cycle Assessment (LCA) realizací jednotlivých variant obvodových konstrukcí. Obvodový plášť zhotovený z tvárnic Betong se systémem vnitřního zateplení byl porovnáván s obvodovým pláštěm zhotoveným z keramických zdících prvků a keramických zdících prvků s vnějším zateplením ETICS. Pro výpočet produkce ekvivalentního emisního faktoru CO_2 a SO_2 byl použit katalog materiálů z literatury Bauteilkatalog Ökologisch bewertete Konstruktionen [41], který u jednotlivých materiálů udává produkci požadovaných ekvivalentních emisních faktorů a spotřebu primární energie podle metodiky LCA.

U referenčního domu zhotoveného z betonových tvárnic Betong se systémem vnitřního zateplení byla spočtena spotřeba primární a primární neobnovitelné energie při užívání rodinného domu pro jednotlivé varianty vnitřního zateplení. Přepočet spotřeby energie na primární a primární neobnovitelnou energii byl proveden dle Vyhlášky 78/2013 [24].

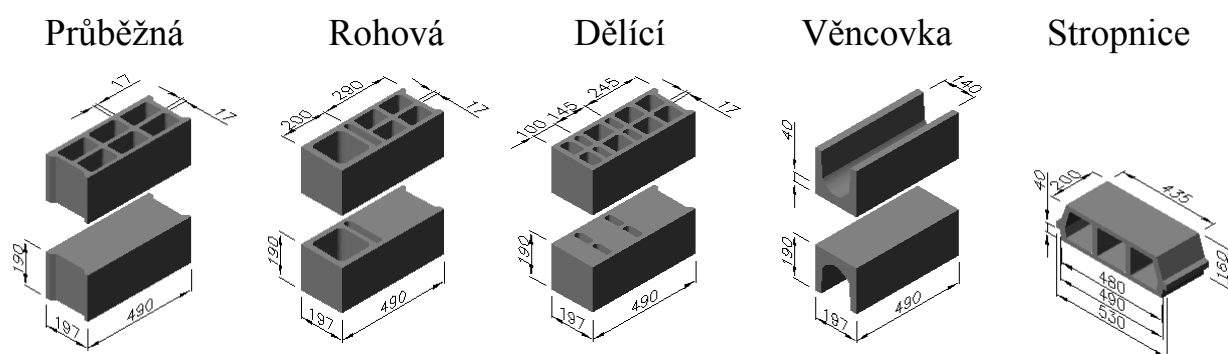
4 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

4.1 BETONOVÉ TVÁRNICE BETONG A VNITŘNÍ ZATEPLENÍ

Ve své práci se zabývám betonovými skořepinovými tvárniciemi, které vyrábí firma Be-Tong s.r.o. v Ratiškovcích u Hodonína, podle francouzské technologie.

Skořepinové betonové tvárnice se vyrábí patentovanou usměrněnou vertikální vibrací. Betonová směs na výrobu tvárnice je složena z dolomitického vápence o frakcích 0 až 4 mm a 4 až 8 mm s obsahem cementu 6 až 8 % a vody. Vyrábí se plně automatizovaným řídicím systémem, který zajišťuje přesné dávkování jednotlivých složek betonové směsi. Z důvodu technologie výstavby mají tvárnice plná dna.

Pro zhotovení obvodové stěny se nejčastěji používají tvárnice Betong 20 o šířce 198 mm. Pro zhotovení příček se používají tvárnice Betong 10, Betong 15.



Obr. 2 Betonové tvárnice Betong – hlavní řada

Pro vnitřní zateplení je nejlepší použít izolační sendvičový komplex, který se skládá ze sádkartonové desky a tepelné izolace (pěnový polystyren, nebo minerální vlna), které jsou k sobě pevně slepeny. V ČR nabízí takhle připravené tepelně izolační sendvičové desky firma Rigips pod obchodním označením Rigitherm (sádkartonová deska + pěnový polystyren).

Desky jsou 1200 mm široké a 2600 mm vysoké. Podle zvolené tloušťky tepelné izolace se mění součinitel prostupu tepla obvodové stěny. Tloušťka tepelné izolace se volí v rozmezí od 140 mm do 200 mm. Tepelně izolační komplex se lepí na obvodovou konstrukci bodově, nebo celoplošně.

4.2 OVĚŘENÍ TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ STAVBY

Dodržení tepelně technických požadavků při výstavbě je důležité z hlediska eliminace tepelně technických vad a z nich vyplývajících poruch.

Při posuzování stavby rodinného domu s vnitřním zateplením jsem ověřoval požadavky, které se bezprostředně týkaly obvodové stěny.

4.2.1 Součinitel prostupu tepla

Obálková konstrukce rodinného domu oddělující interiér od exteriéru se skládá z tepelně izolačního sendviče Rigitherm 140 (sádkartonová deska + polystyren) a betonových skořepinových tvárnic Betong 20. konstrukce rodinného domu spadá do konstrukcí lehkých a musí splnit požadavek na součinitel prostupu tepla $U_{n,20}$, který má požadovanou hodnotu $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Součinitel prostupu tepla obvodové stěny rodinného domu v Pržně jsem spočítal v programu Teplo.

Výstup z programu teplo:

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946 [40]:

Tepelný odpor konstrukce R: $3,86 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Součinitel prostupu tepla konstrukce U: $0,248 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Obvodová stěna s vnitřním zateplením použitá na rodinném domě v Pržně splňuje požadavek na požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla.

4.2.2 Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce

V zimním období musí mít konstrukce nejnižší vnitřní povrchovou teplotu θ_{si} vyšší, nebo rovno požadované povrchové teplotě $\theta_{si,N}$, jinak by na povrchu konstrukce docházelo ke kondenzaci vlhkosti a růstu plísní. Splnění této podmínky se prokazuje pomocí teplotního faktoru vnitřního povrchu f_{Rsi} . Posouzení bylo provedeno v programu Teplo a Area.

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 [8] a ČSN EN ISO 13788 [27]:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách θ_{si} : $17,89 \text{ }^\circ\text{C}$

Teplotní faktor vnitřního povrchu v návrhových podmínkách f_{Rsi} : $0,940$

$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} \Rightarrow 0,940 \geq 0,831$ (pro $\theta_{ai} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\phi_{i,r} = 55 \%$) ... vyhovuje

$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} \Rightarrow 0,940 \geq 0,744$ (pro $\theta_{ai} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\phi_{i,r} = 45 \%$) ... vyhovuje

Z vypočítaných hodnot vyplývá, že posuzovaná konstrukce splňuje požadavek na nejnižší teplotní faktor vnitřního povrchu. Teplotní faktory vnitřního povrchu byly spočítány také pro kritická místa obálkové konstrukce v jednotlivých detailech. Obalová konstrukce splňuje požadavek na teplotní faktor vnitřního povrchu i v kritických místech posuzovaných detailů.

Tab. 1 Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce a kritický teplotní faktor vnitřního povrchu v posuzovaných detailech

Posuzované detaily	Teplota vzduchu interiéru [°C]	Teplota vzduchu exteriéru [°C]	Parametry	RD Pržno, stávající stav, tepelná izolace tl. 140 mm	Navrhnutá konstrukce, tepelná izolace tl. 140 mm	Navrhnutá konstrukce, tepelná izolace tl. 160 mm	Navrhnutá konstrukce, tepelná izolace tl. 200 mm
Napojení obvodové stěny a příčky	20	-15	Teplotní faktor f_{Rsi} [-]	0,928	0,930	0,945	0,95
			Povrchová teplota v rohu [°C]	17,47	17,56	18,06	18,26
Roh obvodové stěny	20	-15	Teplotní faktor f_{Rsi} [-]	0,870	0,871	0,881	0,895
			Povrchová teplota v rohu [°C]	15,45	15,48	15,82	16,34
Napojení obvodové stěny a stropní konstrukce (vytápěné podkrovní)	20	-15	Teplotní faktor f_{Rsi} [-]	0,870	0,874	0,879	0,887
			Povrchová teplota v rohu [°C]	15,45	15,59	15,75	16,03
Napojení obvodové stěny a stropní konstrukce (nevytápěné podkrovní)	20	-15	Teplotní faktor f_{Rsi} [-]	0,888	0,890*	0,896*	0,904*
			Povrchová teplota v rohu [°C]	16,08	16,15*	16,35*	16,65*
Napojení obvodové stěny a podlahy přilehlé k zemině	20	-15	Teplotní faktor f_{Rsi} [-]	0,905	0,907	0,913	0,921
			Povrchová teplota v rohu [°C]	16,69	16,75	16,94	17,23
Napojení obvodové stěny a podlahy přilehlé k zemině, základ zateplen izolací tl.	20	-15	Teplotní faktor f_{Rsi} [-]	0,915	0,916	0,921	0,928
			Povrchová teplota v rohu [°C]	17,03	17,07	17,25	17,50

* Konstrukční a materiálové provedení napojení obvodové stěny a stropní konstrukce rozděluje vytápěné přízemí a nevytápěné podkrovní je stejné jako u RD v Przně, jen s tím rozdílem, že tepelná izolace vnitřního zateplení není nalepena celoplošně. Mění se jen tloušťka vnitřního zateplení obvodové stěny.

4.2.3 Šíření vlhkosti konstrukcí

Posouzení 1D šíření vodní páry konstrukcí dle ČSN 730540 [8] bylo provedeno pro jednotlivé varianty skladeb obvodové konstrukce v programu Teplo. Balance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788 [27] bylo provedeno nejenom pro skladbu obvodové konstrukce v ploše (program Teplo), ale byly také posuzovány jednotlivé detaily v programu Area a Cube3D.

Součinitel difúzního odporu μ stěny tvárnice Betong byl počítán v laboratoři na Ústavu technologie stavebních hmot a dílců na VUT FAST v Brně.

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a balance vlhkosti dle ČSN 730540 [8]:

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

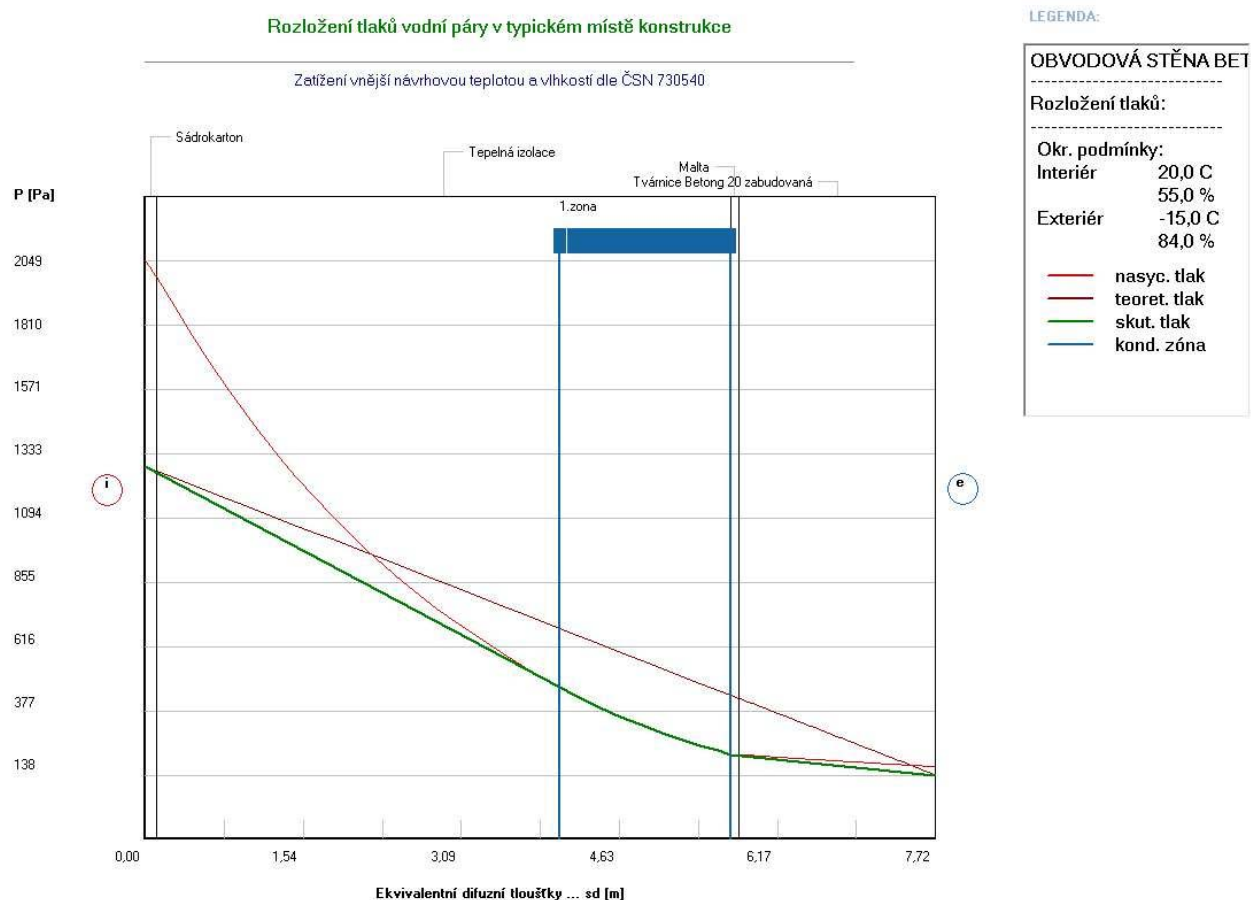
Celoroční balance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry M_c : 0,079 kg/(m²a)

Množství vypařitelné vodní páry M_{ev} : 1,155 kg/(m²a)

Balance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788 [27]:

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.



Obr. 3 Rozložení tlaků vodní páry v obvodové konstrukci dle ČSN 730540 [8]

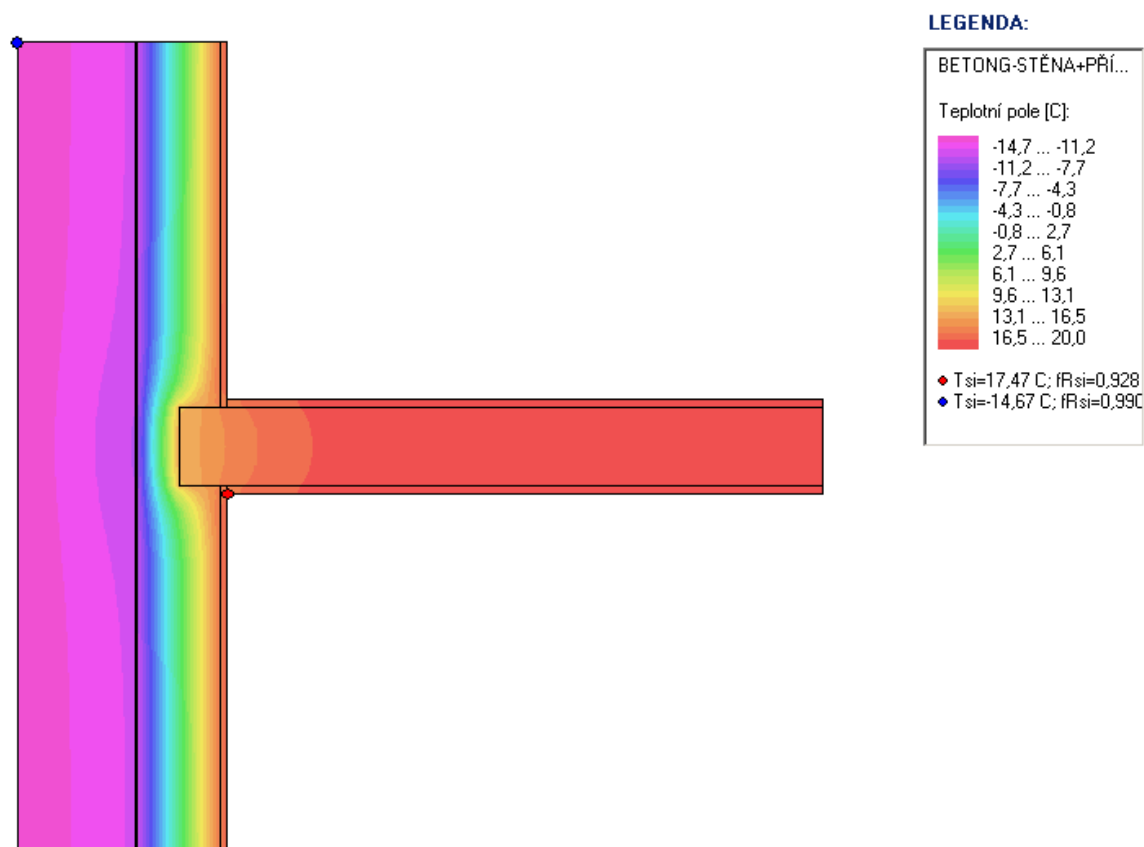
Z 1D posouzení jednotlivých variant obvodové stěny zhotovené z tvárnice Betong 20 s aplikovaným vnitřním zateplením vyplývá, že v konstrukci dochází při daných okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Celoroční množství zkondenzované vodní páry v konstrukci splňuje požadavek normy na maximální přípustné množství zkondenzované vodní páry a požadavek na roční bilanci zkondenzované a vypařené vodní páry. S rostoucí tloušťkou vnitřního zateplení klesá maximální množství zkondenzované vodní páry.

4.2.4 Posuzované detaily

Posouzení bylo vyhotoveno v z hlediska požadavků ČSN 730540-2 [8] v programu Teplo, Area (stavební fyzika).

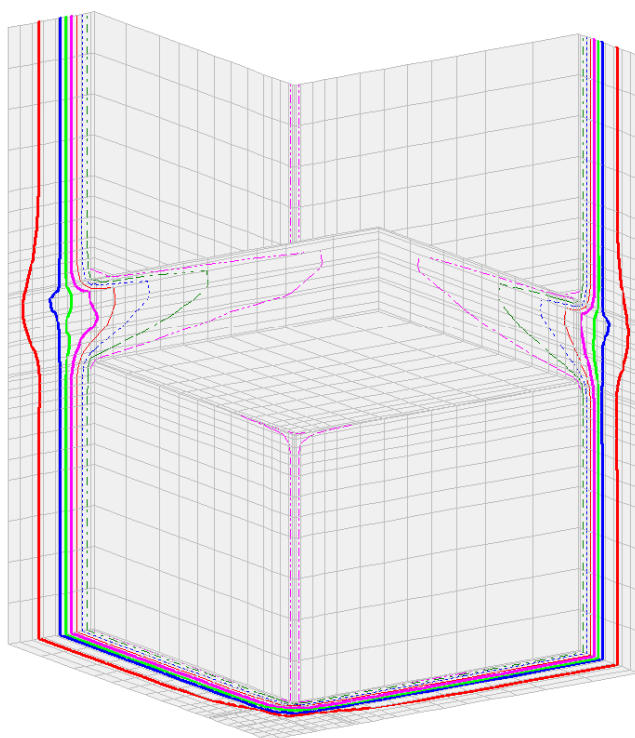
Parametry pro vzduch v interiéru byly uvažovány pro bytovou a občanskou výstavbu. Návrhová teplota vzduchu je 20 °C a relativní vlhkost vzduchu je 50 %.

Návrhová teplota vnějšího vzduchu byla uvažována –15 °C (pro oblast Frýdek Místek).



Obr. 4 Pole teplo-detail napojení příčky a obvodové stěny (RD Pržno)

Kritický detail spojení dvou obvodových stěny a stropní konstrukce byl posouzen v programu cube3D. Okrajové podmínky byly stejné jako při posuzování 2D detailů v programu Area. Pro výpočet bilance vodní páry podle ČSN EN ISO 13788 [27] byly uvažovány průměrné měsíční parametry pro Frýdek Místek (město u Pržna).



LEGENDA:

POSOUZENÍ ROHU M...

Izotermy:

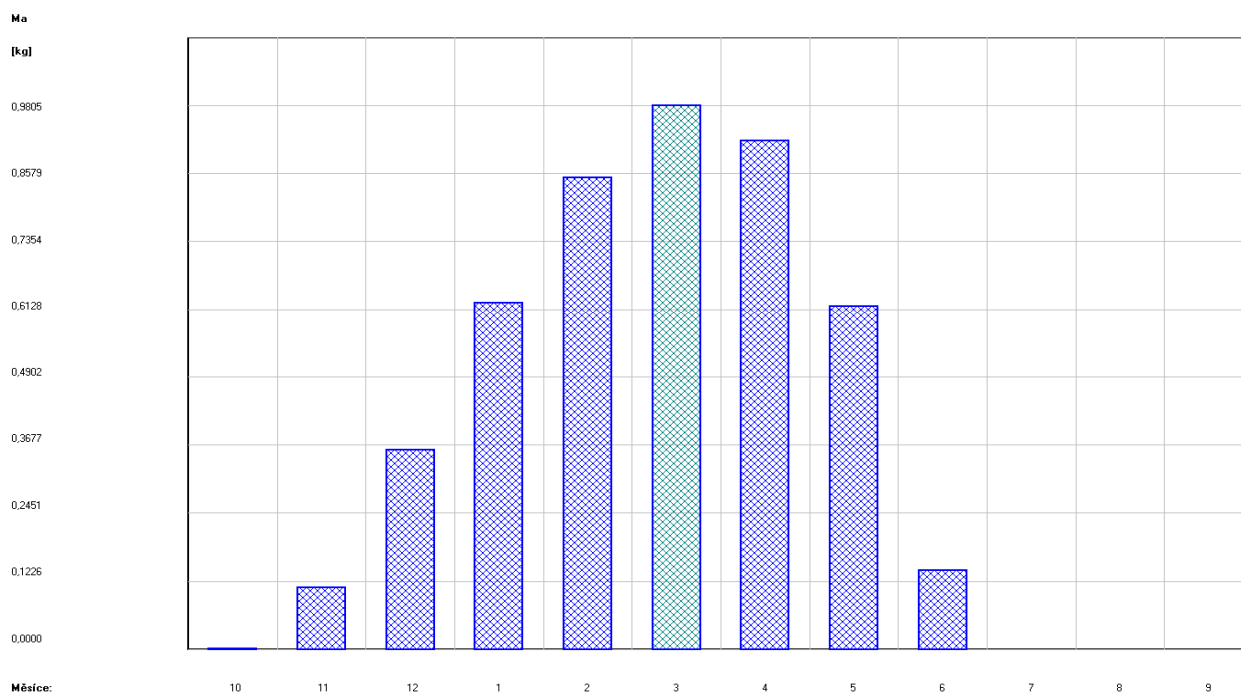
-13,00 C
-10,00 C
-5,00 C
0,00 C
5,00 C
10,00 C
15,00 C
18,00 C

Azimet: 235,0
Zenit: 70,0

Obr. 5 Izotermy - roh obvodové stěny a stropní konstrukce (tepelná izolace tl. 140 mm)

Akumulované množství zkondenzované vlhkosti

Výpočet podle ČSN EN ISO 13788



Obr. 6 Akumulované množství zkondenzované vlhkosti - roh obvodové stěny a stropní konstrukce (tepelná izolace tl. 140 mm) dle ČSN EN ISO 13788 [27]

4.3 MĚŘENÍ NA REFERENČNÍM OBJEKTU

Kontinuální měření bylo prováděno na novostavbě rodinného domu v Pržně (okres Frýdek Místek). Nadmořská výška obce je 350 m. n. m. Dům je situován jako samostatně stojící. Nachází se na rozhraní IV a V sněhové oblasti. Rodinný dům se skládá z přízemí, podkroví a je bez podsklepení.

Měření v místnosti 109

Místnost 109 (pokoj) byla vybrána za kritickou místnost rodinného domu. Místnost je ze dvou stran ohraničena obvodovou stěnou. Obvodové stěny jsou orientovány na sever a západ. Měření povrchových teplot probíhalo na stěně orientované na sever. Povrchová teplota byla měřena na obvodové konstrukci z interiéru a exteriéru. Povrchová teplota obvodové konstrukce z interiéru byla měřena ve dvou bodech. Dále bylo teplotní čidlo umístěné na otopném tělese a na stropní konstrukci u obvodové stěny. V místnosti byly na svislici umístěné tři teplotní čidla ve výšce nad podlahou 0,1 m, 1,1 m a 1,7 m pro měření teploty vzduchu. Pro měření teploty vzduchu v exteriéru bylo přes okno vytaženo jedno teplotní čidlo do exteriéru.

Během měření byla místnost vytápěna přerušovaně pomocí otopného tělesa umístěného pod oknem. Nejnižší teplota vzduchu v exteriéru při měření byla zaznamenána $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nejvyšší $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

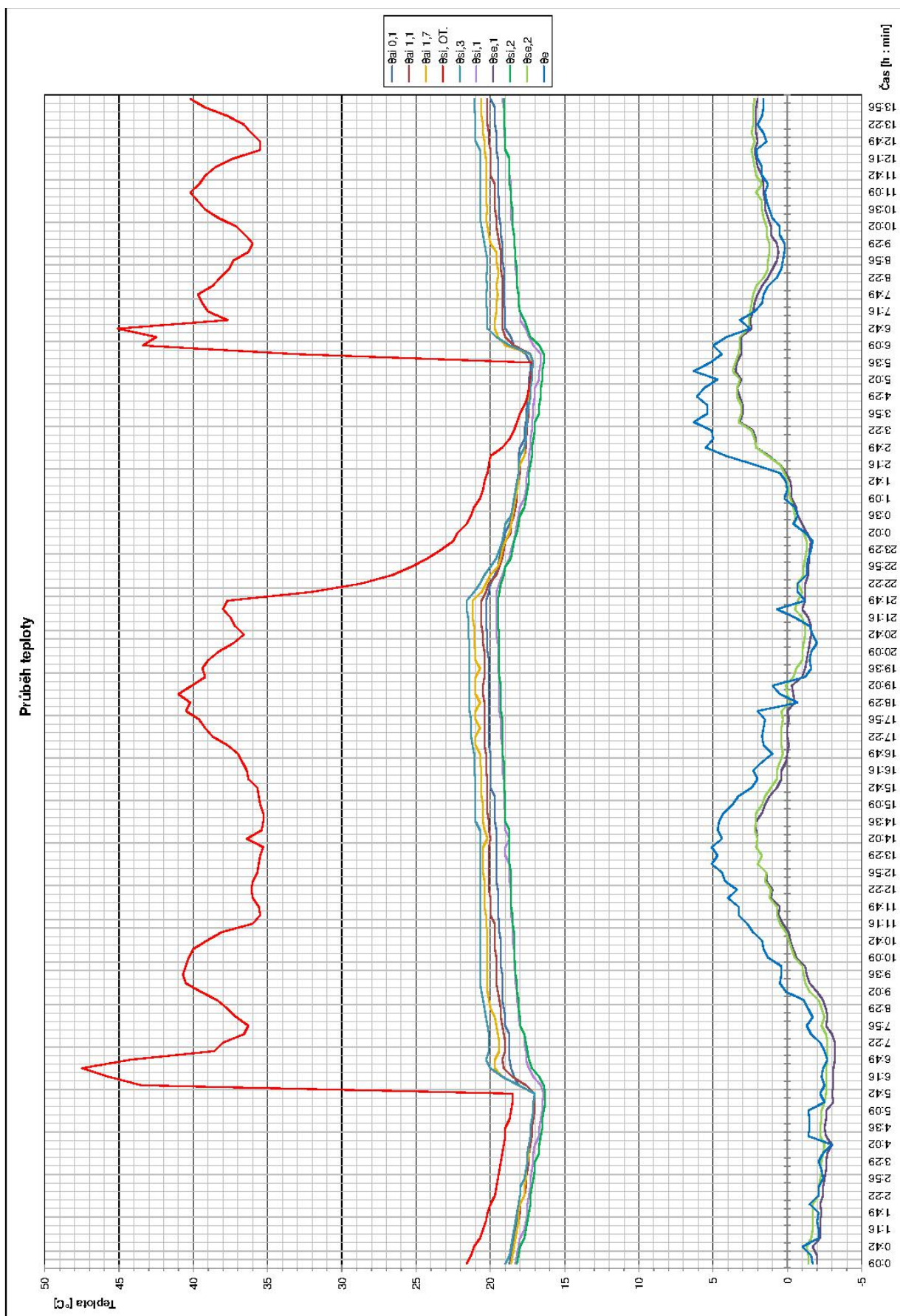
Z naměřených hodnot byl spočítán dle normy ČSN 730540-2 kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$ a teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} v místě měření povrchové teploty $\theta_{si,1}$ a $\theta_{si,2}$.

Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$ je ve všech místech menší, než teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} . S plněním požadavku je prokázáno, že v prostorech s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 60\%$ nedochází k povrchové kondenzaci ze strany interiéru na obálkové konstrukci a je splněn požadavek na zabránění růstu plísní na obálkové konstrukci ze strany interiéru.

Z naměřených hodnot jsme následně spočítali lokální součinitel prostupu tepla U_x přes obálkovou konstrukci.

Lokální součinitel prostupu tepla $U_{x(\theta_{si,1})}$ je roven $0,20\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ a lokální součinitel prostupu tepla $U_{x(\theta_{si,2})}$ je roven $0,22\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Oba dva lokální součinitelé prostupu tepla jsou menší než požadovaná normová hodnota, z toho vyplývá, že normový požadavek je splněn.

Sledování v zimním období prokázala tepelnou stabilitu interiéru domu Pržně. Pokud jde o letní období zvýšených teplot v exteriéru, uživatelé domu uvedli svá zjištění, že v objektu rodinného domu je trvale příjemné teplotní a vlhkostní mikroklima.



Obr. 7 Výšek z výstupu teplotních čidel – pokles teploty při přerušeném vytápění v nočních hodinách od 22 do 5: 30 hod. je podle tabulky 11 ČSN 730540-2 vyhovující

Měření v obývacím pokoji v Pržně (místnost 112)

Druhá série měření byla provedena v místnosti 112 (obývací pokoj). Do měřicí ústředny byly připojeny čidla, které měřily z interiéru a exteriéru povrchovou teplotu obvodové konstrukce, teplotu vzduchu současně s vlhkostí vzduchu a hustotu tepelného toku pomocí měřicí desky.

Místnost 112 plní funkci obývacího pokoje byla pro měření vybrána z důvodu nejdelšího pobytu osob. Měření probíhalo za plného provozu rodinného domu. Místnost je ze dvou stran, z jihu a západu, ohraničena obvodovou stěnou. Měření povrchových teplot probíhalo na stěně orientované na jih v místě rohu stěny.

Během měření byla místnost vytápěna přerušovaně pomocí otopných těles a krbu.

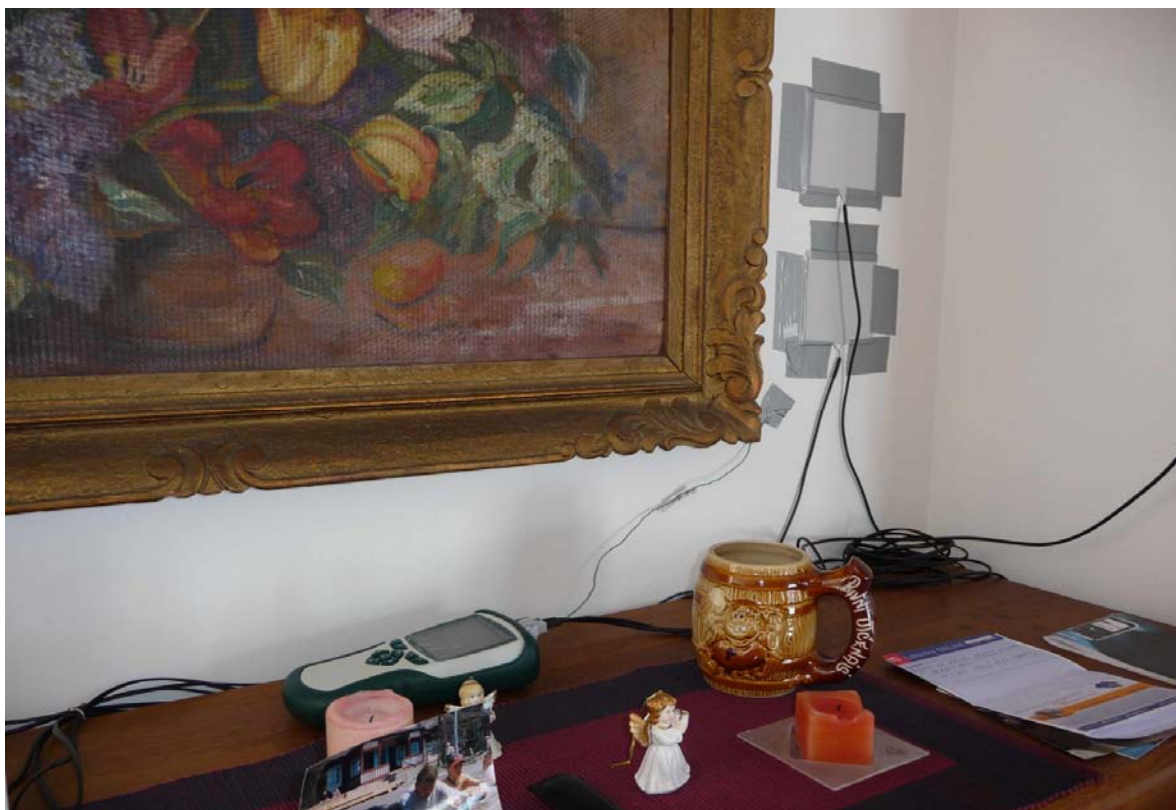
Z naměřených hodnot byl spočítán dle normy ČSN 730540-2 [8] kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$ a teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} v místě měření povrchové teploty $\theta_{si,1}$

Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ je ve všech místech menší, než teplotní faktor f_{Rsi} . Tím je prokázáno splnění požadavku na nejnížší vnitřní povrchovou teplotu konstrukce dle ČSN 730540-2 [8].

Hodnoty hustoty tepelného toku q [W/m^2] jsem použil na vypočítání součinitele prostupu tepla U_T přes obvodovou stěnu.

Z vypočtených hodnot jsem zjistil medián součinitele prostupu tepla $U_T = 0,22 W/(m^2K)$.

Hodnota spočteného součinitele prostupu tepla je menší než požadovaná normová hodnota, z toho plyne, že normový požadavek je splněn.



Obr. 8 Pohled na rozmístění čidel v místnosti 112 se snímači tepelného toku AHLBORN

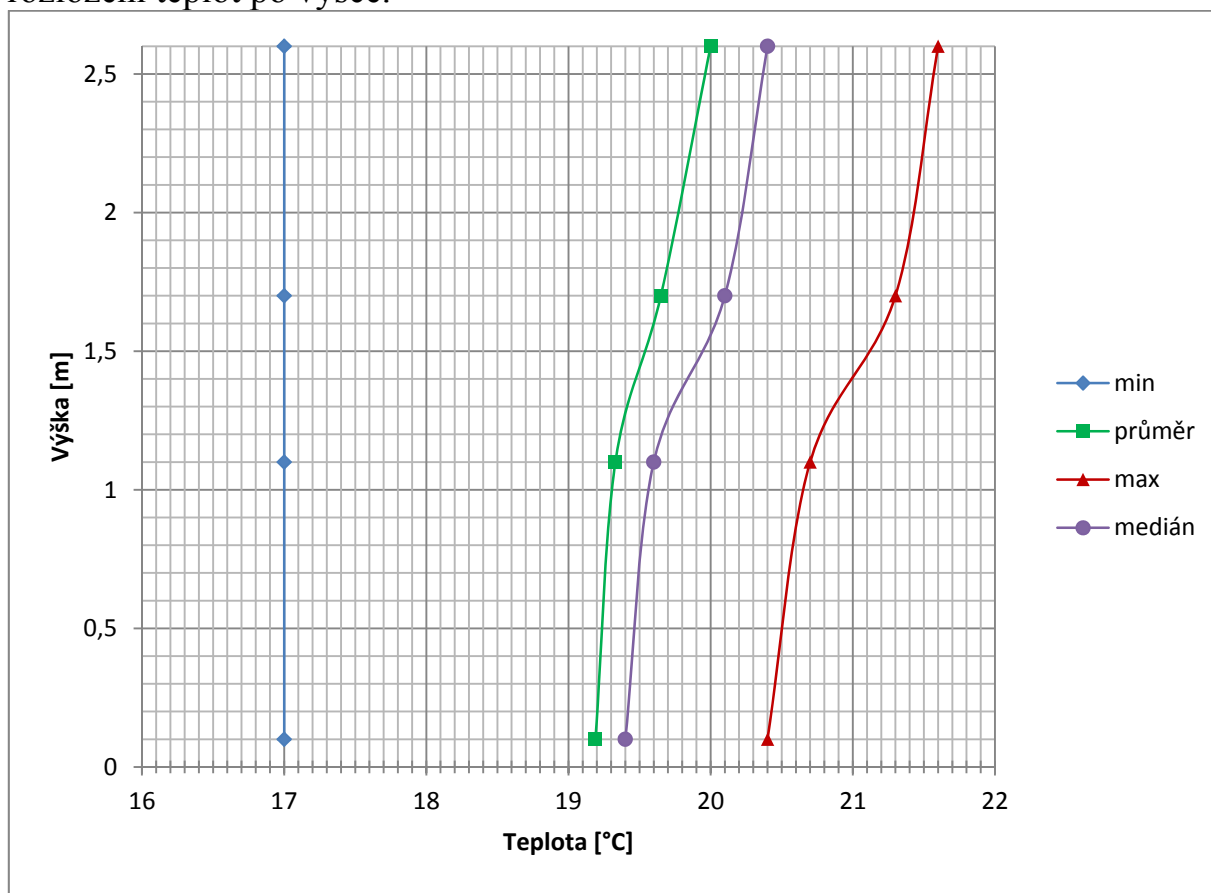
Rozložení teplot po výšce

Pro ověření činitele ovlivňujícího kvalitu mikroklimatických podmínek v místnosti, jejichž obvodové stěny jsou postaveny z tvárnic Betong se systémem vnitřního zateplení bylo zvoleno ověření rozložení teplot vzduchu v místnosti po výšce.

V našich klimatických podmínkách se považuje za optimální, aby se teplota v místnosti pro vykonávání lehké fyzické práce, duševní činnosti či odpočinku pohybovala v rozmezí od 18 °C do 22 °C. I při splnění těchto podmínek však musíme dbát na to, aby teplota vzduchu v jednotlivých výškách od podlahy měla podobnou teplotu a nedocházelo tak k diskomfortu pobývajících osob v důsledku špatných mikroklimatických podmínek. Rozložení teplot po výšce je závislé na způsobu vytápění posuzované místnosti, vlastnostech obálkové konstrukce posuzované místnosti a okrajových podmínkách (teplota vzduchu v exteriéru a interiéru).

V rodinném domě v Pržně byla vybrána kritická místnost pokoj (109), která byla rohová a současně byla orientována na sever.

Při zaznamenávání teplot byla zjištěna nejnižší teplota vzduchu 17 °C a nejvyšší teplota vzduchu v úrovni hlavy 21,3 °C. Maximální rozdíl teploty po výšce mezi úrovní kotníků a úrovní hlavy byl naměřen 0,7 °C. Hodnota je menší než požadované 2 °C, z toho plyne, že místnost splňuje mikroklimatickou podmínku na rozložení teplot po výšce.



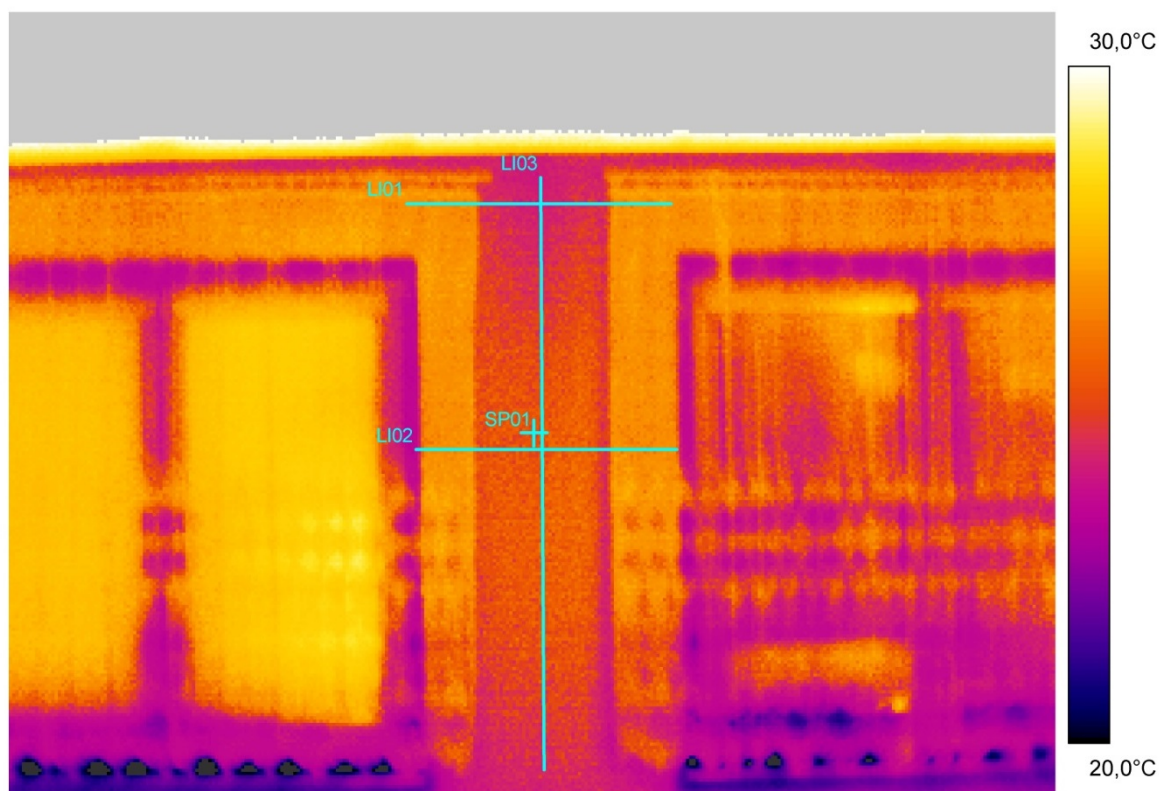
Obr. 9 Vertikální průběh teploty vzduchu

4.4 TERMOGRAFIČKÁ KONTROLA OBALOVÉ KONSTRUKCE

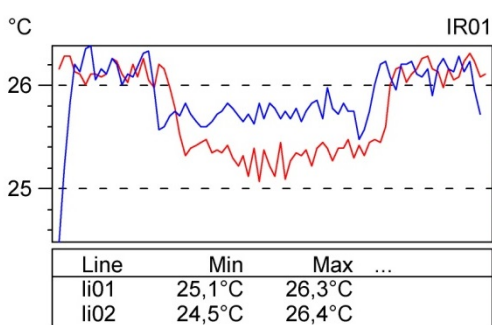
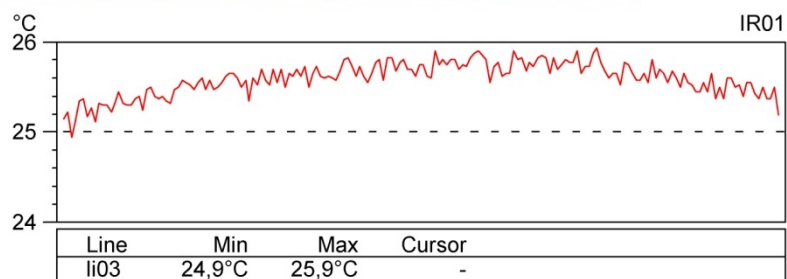
Rodinný dům v Pržně byl dvakrát podroben infračervenému termografickému snímkování. Účelem termografického snímkování bylo ověření obálkové konstrukce rodinného domu zhotovené pomocí této technologie, vyhledání tepelných mostů, tepelných nepravidelností a stanovení povrchové teploty obalových konstrukcí. Povrchová teplota konstrukce byla kontrolována pomocí infračerveného bezdotykového teploměru a pomocí dotykových tepelných čidel. Při zahájení měření byla venkovní teplota $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vnitřní teplota v obývacím pokoji byla $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Termografické snímkování bylo prováděno nejprve z interiéru a pak následně z exteriéru. Na obr. 10 je na termogramu viditelný vybetonovaný vyztužený pilíř v obvodovém nosném zdivu. Pilíř je umístěn mezi dvěma výplněmi otvorů (okny).

Při termografickém snímkování rodinného domu postaveného z betonových skořepinových tvárníc Betong se systémem vnitřního zateplení Rigips s tepelnou izolací z polystyrenu v tl. 140 mm nebyly zjištěny žádné výrazné tepelné mosty v obalové konstrukci stavby. Při splnění podmínek vytápění místností a udržování vzdušné vlhkosti podle projektové dokumentace, to znamená, že obytné místnosti budou vytápěny na $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vzdušná vlhkost bude 50 %, nebude docházet ke kondenzaci vlhkosti na vnitřních površích obalové konstrukce v posuzovaných detailech ani v ploše a současně nebudou splněny podmínky pro výskyt plísní. Dále je patrné, že sluneční záření dopadající na obalovou konstrukci stavby má výrazný vliv na povrchovou teplotu tvárníc z exteriéru a i v zimních měsících dochází k vypařování případné zkondenzované vlhkosti z konstrukce.

Termografické snímkování současně prokazuje, že obalová konstrukce stavby oddělující interiér od exteriéru byla provedena s dostatečnou pečlivostí bez viditelných vad a poruch.



Object parameter	Value
Emissivity	0,90
Object distance	4,0 m
Ambient temperature	27,0°C
Atmospheric temperature	27,0°C
Relative humidity	0,18
Label	Value
IR : max	37,3°C
IR : min	18,2°C
SP01	25,8°C
LI01 : max	26,3°C
LI01 : min	25,1°C
LI01 : max-min	1,2°C
LI02 : max	26,4°C
LI02 : min	24,5°C
LI02 : max-min	1,9°C
LI03 : max	25,9°C
LI03 : min	24,9°C
LI03 : max-min	1,0°C



Obr. 10 Pohled na obvodovou stěnu obývacího pokoje orientovanou na západ – viditelný vybetonovaný pilíř v tvárnicih mezi okny, zjištěná lokální povrchová teplota splňuje normové požadavky – limitní teplota pro výskyt plísní a povrchovou kondenzaci je vysoce překročena. Pro veškerá termografická měření v interiéru referenčního domu v Pržně je tato podmínka splněna

4.5 STANOVENÍ VZDUCHOTĚSNOSTI OBÁLKY BUDOVY

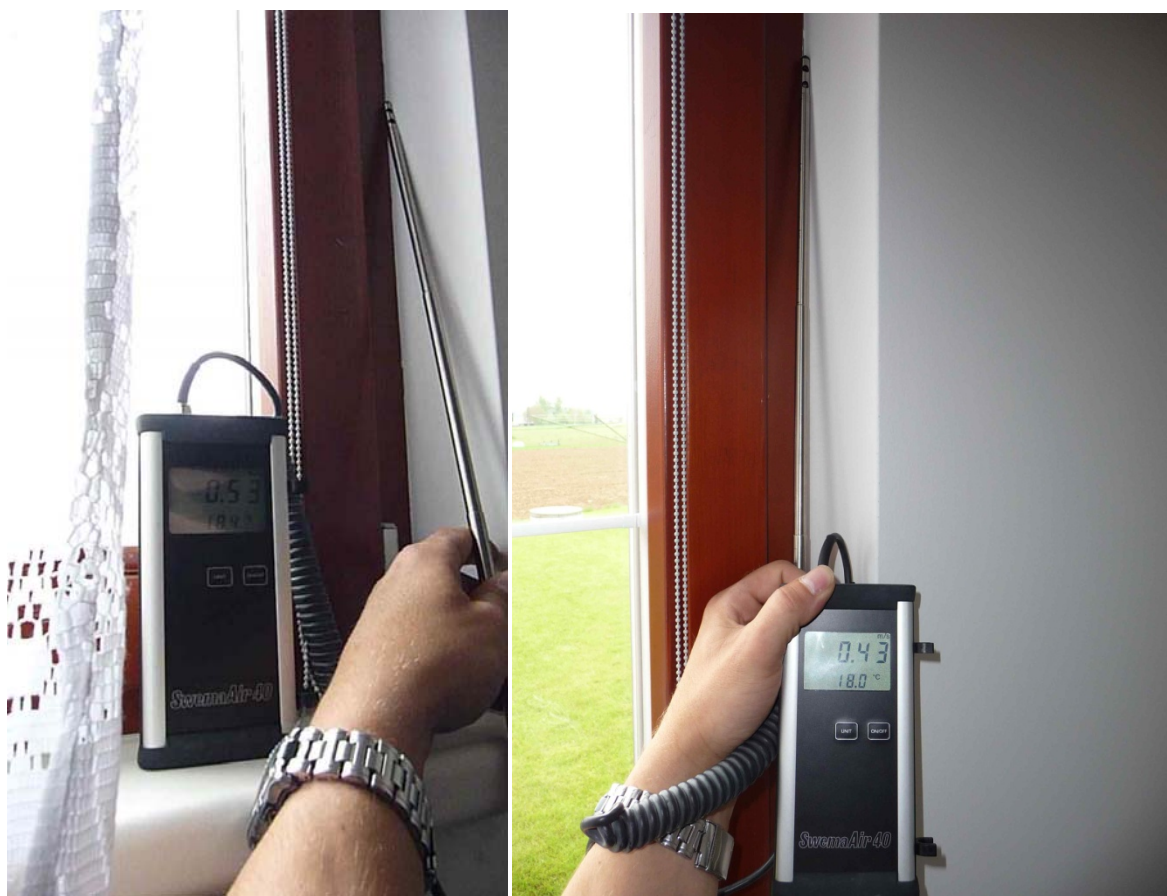
Měření vzduchotěsnosti obálky budovy bylo prováděno jak na rodinném domě v Pržně, tak na rodinném domě ve Veselí nad Moravou. Celkově byly provedeny tři měření. Dvě na rodinném domě v Pržně a jedno na rodinném domě ve Veselí nad Moravou.

Před samotným měřením musel být proveden podrobný průzkum rodinného domu. Byly zjištěny místa, kudy by z budovy unikal vzduch přes zařízení budovy a došlo by tak k znehodnocení měření. Tyto prostupy přes obálku budovy musely být utěsněny.

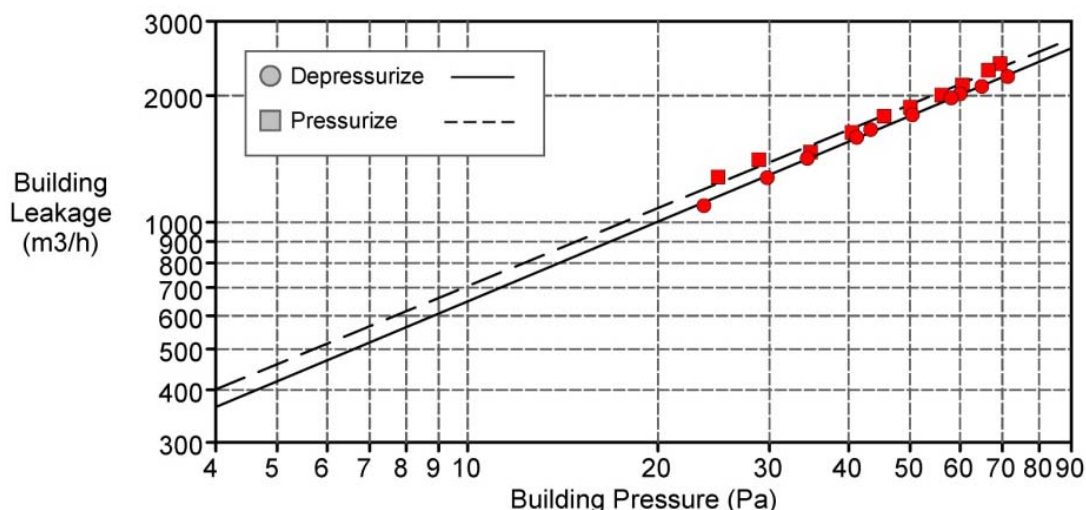
Měření bylo prováděno dle normy EN 13829 [12]. Měření bylo prováděno pomocí přístroje Minneapolis Blower Door Model 4.1 (230V).

Pro měření byla vybrána testovací metoda B, která se nejlépe hodila na náš testovaný dům. Vzduchotěsnost byla měřena při podtlaku i přetlaku.

Při měření vzduchotěsnosti obvodového pláště pomocí podtlaku byly zjišťovány dílčí netěsnosti v plášti budovy pomocí anemometru a termokamery. Při měření byly zjištěny dílčí netěsnosti. U rodinného domu v Pržně byly zjištěny netěsnosti mezi rámem okna a ostěním. Naopak u rodinného domu ve Veselí nad Moravou byly zjištěny netěsnosti kolem elektrických zásuvek umístěných v obvodové stěně.



Obr. 11 Měření rychlosti proudění vzduchu anemometrem mezi rámem okna a ostěním při podtlakové zkoušce vzduchotěsnosti obálky budovy



Obr. 12 Graf znázorňující únik vzduchu přes obálku budovy při stanovených tlakových rozdílech při podtlakové a přetlakové zkoušce u rodinného domu v Pržně

Měřením bylo zjištěno, že celková intenzita výměny vzduchu n_{50} rodinného domu postaveného v Pržně je $3,02 \text{ h}^{-1}$.

Měřením vzduchotěsnosti v dílčí části rodinného domu v Pržně byla zjištěna celková intenzita výměny vzduchu $3,77 \text{ h}^{-1}$.

Měřením bylo zjištěno, že celková intenzita výměny vzduchu n_{50} rodinného domu ve Veselí nad Moravou je $2,97 \text{ h}^{-1}$. Doporučená maximální hodnota celkové intenzity výměny vzduchu pro přirozené větrání dle ČSN 730540-2 [8] je $4,5 \text{ h}^{-1}$. Z toho plyne, že stavba rodinného domu v Pržně i ve Veselí nad Moravou splňuje podmínky pro celkovou průvzdušnost obálky budovy.

Vzduchotěsnost obálky budovy by šlo zvýšit odstraněním dílčích netěsností mezi oknem a parapetem (v Pržně) a použitím vzduchotěsných elektrických krabic (ve Veselí nad Moravou).

4.6 POROVNÁNÍ EKONOMICKÝCH NÁKLADŮ ZVOLENÝCH SYSTÉMU ZATEPLENÍ

Při ekonomickém hodnocení jsem prováděl porovnávání finančních nákladů na zhotovení obálkové konstrukce stavby rodinného domu v Pržně pomocí betonových tvárnic Betong se systémem vnitřního zateplení, keramických tvárnic Porothersm a keramických tvárnic Porothersm se systémem vnějšího zateplení ETICS.

Při ekonomickém porovnávání jednotlivých variant zhotovení obvodové stěny jsem vždy vycházel z toho, že vzájemně posuzované konstrukce musí mít přibližně stejný součinitel prostupu tepla přes obvodovou stěnu. Jako výchozí konstrukce byla zvolena vždy obvodová stěna zhotovená z betonových skořepinových tvárnic Betong 20 se systémem vnitřního zateplení Rigitherm zvolené tloušťky. Celkově bylo porovnání provedeno pro čtyři skupiny. Při porovnávání bylo počítáno i s provedením omítnutí tvárnic Betong z exteriéru, i když tvárnice Betong mohou přímo tvořit pohledovou část a nemusí být omítnuty z exteriéru.

V první skupině byla porovnávána obvodová stěna zhotovená z tvárnic Betong 20 se systémem vnitřního zateplení Rigitherm 140 ($U=0,246 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) s obvodovou stěnou zhotovenou z tvárnic Porotherm 40 Profi Dryfix.

Ve druhé variantě byla porovnávána stěna zhotovená z betonových tvárnic Betong 20 se systémem vnitřního zateplení Rigitherm 160 ($U=0,213 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) se stěnou zhotovenou z keramických tvárnic Porotherm 40 EKO + Profi dryfix a Porotherm P+D 40 s vnějším zateplením ETICS tl. 90 mm.

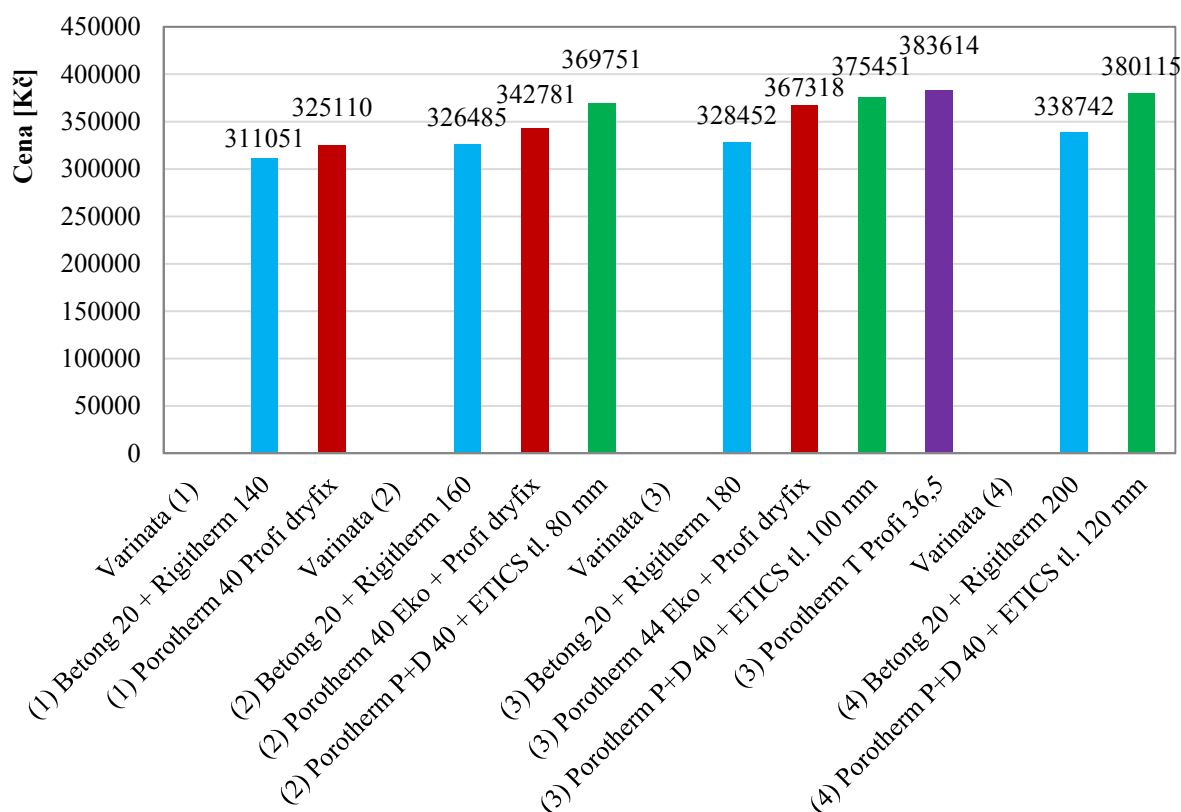
Ve třetí variantě bylo provedeno porovnání obvodové stěny Betong 20 se systémem vnitřního zateplení Rigitherm 180 ($U=0,193 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) se stěnou zhotovenou z keramických tvárnic Porotherm 44 EKO + Profi dryfix, Porotherm T Profi 36,5 a Porotherm P+D 40 s vnějším zateplením ETICS tl. 100 mm.

Ve čtvrté variantě bylo provedeno porovnání obvodové stěny Betong 20 se systémem vnitřního zateplení Rigitherm 200 ($U=0,185 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) se stěnou zhotovenou z keramických tvárnic Porotherm P+D 40 s vnějším zateplením ETICS tl. 120 mm.

Skladba obvodové stěny zhotovené z tvárnic Betong 20 se systémem vnitřního zateplení je ve všech čtyřech variantách stejná. Liší se jen tloušťkou vnitřního zateplení Rigitherm.

Plocha obálkové konstrukce 1NP rodinného domu v Przně měla plochu 129 m^2 .

Rozpočet pro jednotlivé varianty obvodové konstrukce byl zpracován v programu Kros.

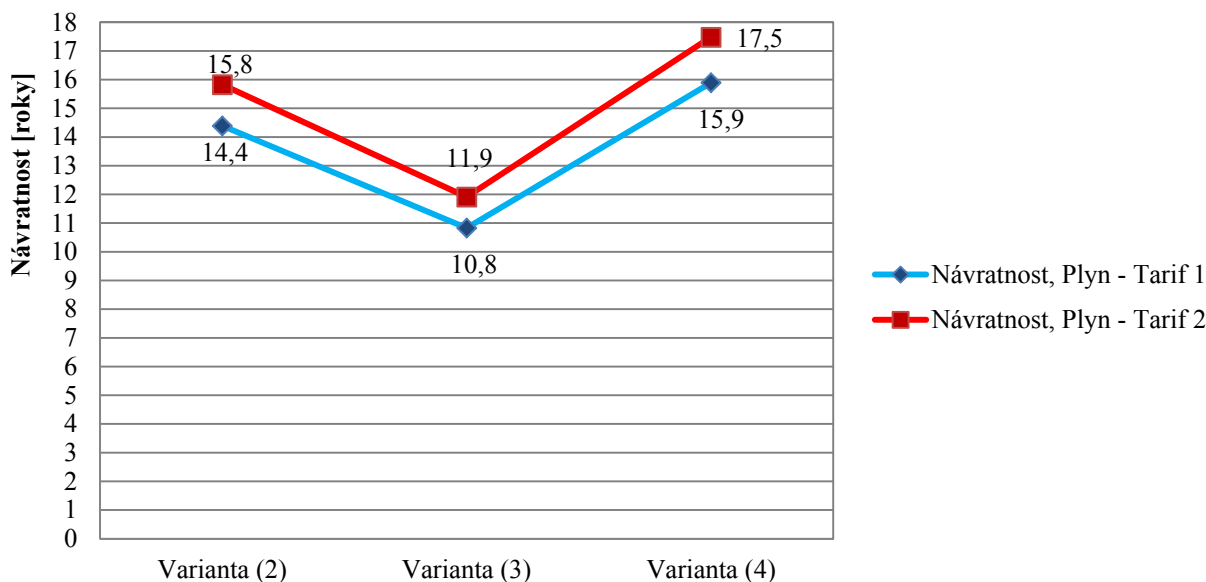


Obr. 13 Grafické znázornění ekonomických nákladů na zhotovení svíslého pláště objektu o ploše 129 m^2 podle jednotlivých variant v Kč s DPH 15%

Z posuzovaných variant vyplývá, že obálková konstrukce zhotovená z tvárnic Betong 20 se systémem vnitřního zateplení je ve všech variantách výhodnější, než zhotovení obálky budovy z keramických bloků Porotherm, nebo keramických bloků Porotherm se systémem vnějšího zateplení ETICS.

S rostoucí tloušťkou tepelné izolace Rigitherm se ekonomická výhodnost zvětšuje. Největších finančních rozdílů na zhotovení obvodové konstrukce je dosažení při použití obvodového zdiva Betong 20 se systémem vnitřního zateplení Rigitherm 180 (tloušťka tepelné izolace 180 mm).

V rámci ekonomického hodnocení jsem spočítal náklady na roční vytápění rodinného domu pro posuzované čtyři varianty obvodových stěn z tvárnic Betong 20 se systémem vnitřního zateplení Rigitherm. Při posuzování nákladů jsem uvažoval, že celý dům bude vytápěn plynovým kotlem a přitápění krbem jsem zanedbal. Náklady jsou počítány na dva tarify dodávky plynu pro domácnosti od RWE. Náklady na vytápění jsem potřeboval spočítat, abych zjistil roční úspory na vytápění při zhotovení obvodové stěny s lepším součinitelem prostupu tepla. Na základě finančních úspor jsem pak spočítal finanční návratnost zhotovení jednotlivých obvodových stěn s lepším součinitelem prostupu tepla. Jako výchozí konstrukce byla uvažována obvodová stěna postavená z tvárnic Betong 20 se systémem vnitřního zateplení Rigitherm 140. Z posuzovaných variant vyplývá, že nejlepší návratnost má obvodová stěna postavená z tvárnic Betong 20 se systémem vnitřního zateplení Rigitherm 180. Návratnost je 11 let při tarifu 1 a při tarifu 2 je to 12 let. Z grafu je také patrné, že návratnost realizace obvodové stěny s lepšími tepelně technickými vlastnostmi je výrazně ovlivněna změnami cen energií na vytápění.



Obr. 14 Grafické znázornění ekonomické návratnosti realizace posuzovaných obvodových stěn s lepším součinitelem prostupu tepla při vytápění plynem - Varianta (1) Betong 20 + Rigitherm 140 brána jako výchozí

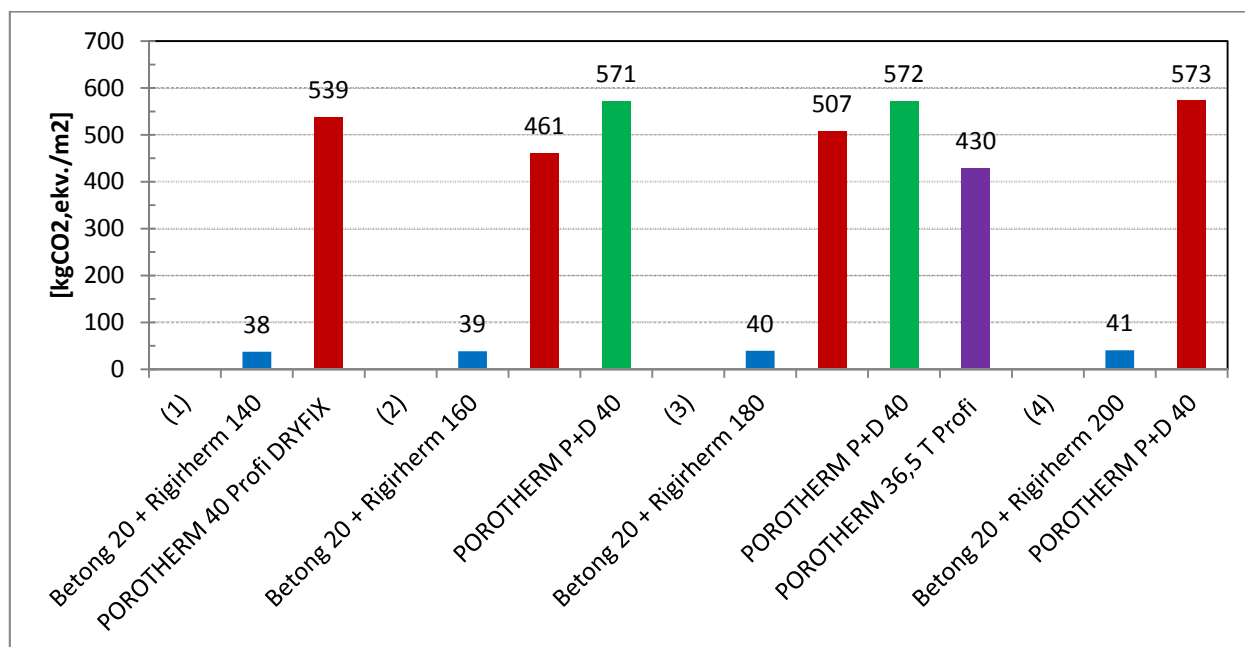
4.7 STANOVENÍ DOPADU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Každá stavba na zemi zatěžuje životní prostředí. Některá více, jiná naopak méně. Stavba zatěžuje životní prostředí při realizaci, užívání a likvidaci stavby. Nejčastěji se posuzuje ekologická zátěž pomocí produkce $\text{CO}_2_{\text{ekv.}}$ a $\text{SO}_2_{\text{ekv.}}$. Vypouštění $\text{CO}_{2\text{ekv.}}$ podporuje oteplování planety a vypouštění $\text{SO}_2_{\text{ekv.}}$ způsobuje vznik kyselých dešťů. Pro hodnocení ekologické zátěže se používají různé metodiky. Nejčastěji se posuzuje dopad na environment pomocí metodiky LCA (Life Cycle Assessment), která zahrnuje souhrn všech energetických požadavků stavby, včetně těžby nerostných surovin, výroby materiálu, dopravy, montáže, až po likvidaci během celého životního cyklu.

Při hodnocení dopadu stavby jsem využil toho, že pro jednotlivé stavební materiály jsou již zpracovány produkce $\text{CO}_2_{\text{ekv.}}$, $\text{SO}_2_{\text{ekv.}}$ a spotřeba primární energie podle metody LCA. Na světě existuje několik databází materiálů zpracovaných podle metodiky LCA. Já jsem pro posouzení použil katalog materiálů z literatury Bauteilkatalog Ökologisch bewertete Konstruktionen [41], který se v České republice používá nejvíce.

Posouzení bylo provedeno pro stejné varianty obvodového zdiva, jako u porovnání ekonomických nákladů zvolených systémů zateplení.

Obvodové zdivo z betonových skořepinových tvárnic s vnitřním zateplením při porovnávání dopadu na environment podle metodiky LCA produkuje nejméně $\text{CO}_2_{\text{ekv.}}$ v porovnání s ostatními posuzovanými variantami obvodových stěn zhotovených z keramických bloků. Nejlépe si vede také při posuzování produkce $\text{SO}_2_{\text{ekv.}}$, i když zde již není rozdíl tak markantní.



Obr. 15 Porovnání produkce $\text{CO}_{2,\text{ekv.}}$ na jeden metr čtvereční obvodového zdiva pro jednotlivé posuzované varianty

5 ZÁVĚR

Měřením na stavbě a softwarovou simulací bylo prokázáno, že obalová konstrukce zhotovená z betonových skořepinových tvárnic Betong 20 s aplikovanou tepelnou izolací z interiéru o min. tloušťce 140 mm splňuje požadavek na součinitel prostupu tepla obvodové stěny, nejnižší vnitřní povrchovou teplotu konstrukce, požadavek na roční bilanci zkondenzované a vypařené páry a zkondenzovanou vodní páru uvnitř konstrukce. Současně obálka budovy splňuje požadavek na celkovou průvzdušnost obálky budovy.

Při kontinuálním měření teplot bylo prokázáno, že při přerušovaném vytápění je pokles teploty vzduchu v místnosti vyhovující. Interiér splňuje požadavek na tepelnou stabilitu místnosti v zimním období.

V kritické místnosti v rodinném domě v Pržně bylo měřeno rozložení teplot po výšce. Rozdíl teplot je menší než maximální přípustná hodnota 2 °C. Splněním požadavku je prokázáno, že místnost splňuje mikroklimatické požadavky a je dosaženo optimální tepelné pohody.

Termovizním snímkováním bylo prokázáno, že obálková konstrukce stavby oddělující interiér od exteriéru byla provedena s dostatečnou pečlivostí bez viditelných vad a v konstrukci se nevyskytuje žádný výrazný tepelný most. Termovizním snímkováním bylo ověřeno, že vnitřní povrchová teplota obálkové konstrukce má vyšší povrchovou teplotu, než požaduje norma, to znamená, že na povrchu obálkové konstrukce z interiéru nedochází k povrchové kondenzaci a není splněna podmínka pro výskyt plísní.

Dále bylo prokázáno, že výstavba obvodových konstrukcí z betonových skořepinových tvárnic Betong 20 s vnitřním zateplením Rigitherm je ne jenom ekonomicky výhodnější než výstavba obvodových konstrukcí z keramických bloků a keramických bloků s vnitřním zateplením, ale současně je i šetrnější k životnímu prostředí.

Posouzením bylo prokázáno, že výstavba rodinných domů podle technologie transferované z Francie, splňuje tepelně technické požadavky kladené na obálkovou konstrukci stavby právními předpisy v ČR a současně stavba postavená podle této technologie je vhodná i do našeho klimatického podnebí.

V softwarové simulaci jsou použity vlastnosti betonových tvárnic zjištěných z laboratorních zkoušek.

Práce umožňuje srovnání hodnot zjištěných pomocí softwarové simulace a hodnot zjištěných měření na již zrealizované stavbě podle francouzské technologie.

Poprvé bylo v ČR u této technologie výstavby měřeno rozložení teplot po výšce pro ověření mikroklimatických podmínek v interiéru stavby.

Práce dále poukazuje na nedostatky tohoto způsobu výstavby a navrhuje jejich nápravu. Jedná se hlavně o nedostatky v osazování výplní otvorů a utěsnění prostupů prostupující obálkou budovy. Dále práce upozorňuje na nebezpečí kondenzace vzdušné vlhkosti v jednotlivých detailech obálkové konstrukce a navrhuje opatření pro snížení množství zkondenzované vzdušné vlhkosti v konstrukci.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDOJŮ

- [1] NOVÁK, Jiří . *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*. první vydání. Praha : Grada Publishin, a.s., 2008. 204 s. ISBN 978-80-247-1953-5.
- [2] VEVERKA, Jiří , et al. *Stavební tepelná Technika a energie budov*. první. Vysoké učení technické v Brně : VUTIUM, 2006. 648 s. ISBN 80-214-2910-0.
- [3] ŠUBRT, Roman ; ZVÁNOVCOVÁ, Pavlína; ŠKOPEK, Martin. *Katalog tepelných mostů : 1- Běžné detaily*. České Budějovice : Energy Consulting, s.r.o., 2008. 232 s. ISBN 978-80-254-2715-6.
- [4] TYWONIAK, Jan. *Níkoenergetické domy : Principy a příklady*. první. Praha : Grada Publishing, a.s., 2005. 200 s. ISBN 80-247-1101-X.
- [5] TYWONIAK, Jan , et al. *Nízkoenergetické domy 2 : Principy a příklady*. první. Praha : Grada Publishing, a.s., 2008. 204 s. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [6] POČINKOVÁ, Marcela, et al. *Úsporný dům*. první. Brno : ERA group spol. s.r.o., 2004. 208 s. ISBN 80-86517-96-9.
- [7] ČSN 73 0540-1. *Tepelná ochrana budov - část 1: Terminologie*. Praha : Český normalizační institut, 2005. 68 s.
- [8] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - část 2: požadavky*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 56 s. 89012.
- [9] ČSN 73 0540-2 Změna Z1. *Tepelná ochrana budov - část 2: požadavky*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 4 s. 90408.
- [10] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha : Český normalizační institut, 2005. 96 s. 72612.
- [11] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - část 4: Výpočtové metody*. Praha : Český normalizační institut, 2005. 60 s.
- [12] EN 13829. *Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified)*. Brussels : CEN, 2000. 23 s. EN 13829:2000 E.
- [13] ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 140 s. 84106.
- [14] ČSN EN ISO 7726. *Ergonomie tepelného prostředí - Přístroje pro měření fyzikálních veličin*. Praha : Český normalizační institut, 2002. 55 s. 64604.
- [15] ČSN EN ISO 10211. *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - Tepelné toky a povrchové teploty - Podrobné výpočty*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 48 s. 82639.
- [16] TNI 73 0329. *Zjednodušené výpočtové hodnocení a kvalifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 16 s. 82832.

- [17] TNI 73 0330. *Zjednodušené výpočtové hodnocení a kvalifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Bytové domy*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 20 s. 83815.
- [18] ČSN 72 7012-1. *Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 1: Společná ustanovení*. Praha : Český normalizační institut, 1994. 20 s. 16022.
- [19] ČSN 72 7012-2. *Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 2: Metoda chráněné teplé desky*. Praha : Český normalizační institut, 1994. 8 s. 16023.
- [20] ČSN 72 7012-3. *Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku*. Praha : Český normalizační institut, 1994. 8 s. 16024.
- [21] ČSN EN 12667 (7300569). *Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku - Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu*. Praha : Český normalizační institut, 2001. 2 s. 62483.
- [22] ČSN EN ISO 13786. *Tepelné chování stavebních dílců - Dynamické tepelné charakteristiky - Výpočtové metody*. Praha : Český normalizační institut, 2008. 40 s. 80733.
- [23] ČSN EN 1946-3 (730562). *Tepelné chování stavebních výrobků a stavebních dílců - Specifická kritéria pro posuzování laboratorních měření veličin šíření tepla - Část 3: Metoda měřidla tepelného toku*. Praha : Český normalizační institut, 2000. 28 s. 58218.
- [24] ČR. O energetické náročnosti budov. In *Sbírka zákonů č. 78/2013*. 2013, 78, s. 738-770.
- [25] ČR. O hospodaření energií. In *Sbírka zákonů č. 406/2006*. 2006, 130, 406, s. 5658-5670.
- [26] ČSN EN 13187. *Tepelné chování budov - Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov - Infračervená metoda*. Praha : Český normalizační institut, 1999. 20 s.
- [27] ČSN EN ISO 13788. *Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků - Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody*. Praha : Český normalizační institut, 2002. 40 s.
- [28] ČR. Vyhláška ministerstva zdravotnictví, kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity venkovních hracích ploch. In *Sbírka zákonů 464/2000*. 2000, 132, 464, s. 7214-7229.
- [29] ČR. Úmluva o ochraně zástupců pracovníků v podniku a úlevách, které jim mají být poskytnuty. In *Sbírka mezinárodních smluv č. 108/2001*. 2001, 50, 108, s. 2034-2040.

- [30] ČR. Úmluva o ochraně evropské planě rostoucích rostlin, volně žijících živočichů a přírodních stanovišť. In *Sbírka mezinárodních smluv č. 107/2001*. 2001, 49, 107, s. 2011-2032.
- [31] ČR. Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. In *Sbírka zákonů 178/2001*. 2001, 68, 178, s. 3682-3793.
- [32] Směrnice evropského parlamentu a rady 2002/91/ES. *O energetické náročnosti budov*. EU: Evropský parlament, Rada, 2002. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu>
- [33] Směrnice evropského parlamentu a rady 2010/31/ES. *O energetické náročnosti budov*. EU: Evropský parlament, Rada, 2010. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu>
- [34] Směrnice evropského parlamentu a rady 2009/28/ES. *O podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES*. EU: Evropský parlament, Rada, 2009. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu>
- [35] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *ISSaR Informační systém statistiky a reportingu: Indikátory životního prostředí* [online]. CENIA, 2012 [cit. 2012-11-19]. Dostupné z: <http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=110>
- [36] I. DVOŘÁKOVÁ, P. Machálek, O. Miňovský, M. Modlík, J. Ostatnická, R. Srněnský. *Znečištění ovzduší na území ČR v roce 2011: Český hydrometeorologický ústav - Úsek ochrany čistoty ovzduší* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2012 [cit. 2012-11-19]. Dostupné z: <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr11cz/seztav.html>
- [37] *Atesty 2007 : Betonové skořepinové tvárnice a stropnice*. Hodonín: BE-TONG, s.r.o., 2007. 104 s.
- [38] Renewable energy: Share of renewable energy up to 13% of energy consumption in the EU27 in 2011. *EUROSTAT* [online]. [cit. 2013-08-09]. Dostupné z: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/8-26042013-AP/EN/8-26042013-AP-EN.PDF
- [39] Spotřeba energie v domácnostech v ČR: Energetická spotřeba bytů. *Český statistický úřad* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2005 [cit. 2013-08-09]. Dostupné z: [http://www.czso.cz/csu/2005edicniplan.nsf/t/F10046034B/\\$File/810905kc34.pdf](http://www.czso.cz/csu/2005edicniplan.nsf/t/F10046034B/$File/810905kc34.pdf)
- [40] ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 28 s. 82334.
- [41] WALTJEN, Tobias , et al. *Passivhaus - Bauteilkatalog: Ökologisch bevertete Konstruktionen*. 3. vyd. Vienna: Springer Vienna Architecture, 2009. 347 s. ISBN 978-3211994962.
- [42] BE-TONG S.R.O. [online]. [cit. 2012-08-19]. Dostupné z: www.be-tong.cz

- [43] RIGIPS. [online]. [cit. 2012-08-19]. Dostupné z: <http://www.rigips.cz/sadrokartonove-systemy-2/rigitherm-vnitřni-zateplení-sten>
- [44] IPCC. *Intergovernmental panel on climate change* [online]. [cit. 2012-08-19]. Dostupné z: http://www.ipcc.ch/index.htm#UhiDgj_N7UA
- [45] ČSN EN ISO 12572. *Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení prostupu vodní páry*. Praha : Český normalizační institut, 2002. 32 s.
- [46] TNI 74 6077. *Okna a vnější dveře - Požadavky na zabudování*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 20 s.

7 Autorovo Curriculum Vitae

Jméno: **Ing. Josef Čech**
Datum narození: 16. 09. 1981
Státní příslušnost: ČR
Národnost: česká
Rodinný stav: svobodný

Trvalé bydliště:

Na Kanadě 378
69156 Hrušky
E-mail: cech_josef@centrum.cz

Vzdělání

2006-2013 Doktorské studium, Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, ústav technologie, mechanizace a řízení staveb

2001-2006 Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, studium magisterské, studijní obor pozemní stavby, ukončené vysokoškolským diplomem s titulem Ing.

1997-2001 Gymnázium Hodonín, ukončené maturitním vysvědčením

Zaměstnání:

1. 11. 2007 - doposud Projektant pozemních staveb ve firmě OK PYRUS s.r.o.

Jazykové znalosti

Anglický jazyk – pokročilý
Německý jazyk – základní znalost

PC

WINDOWS, programy MICROSOFT OFFICE (WORD, EXEL, POWERPOINT, PROJECT), plánovací program CONTEC, rozpočtový program BUILD-POWER, rýsovací program AUTOCAD, ARCHICAD a balík programů STAVEBNÍ FYZIKA

Ostatní

Řidičský průkaz skupiny A, B, C a T

8 Abstrakt

Dissertation focuses on the verification of construction family houses made of concrete shell block with internal thermal insulation system. The construction technology is transferred to the Czech Republic from France. The work focuses on building envelope.

The suitability of implementation is assessed on the basis of verification selected thermal technical requirements placed on building envelope. Requirements are specified by legislation in force in the ČR. The verification was performed by using software simulations and measurements on realized buildings.

Critical areas of construction technology were identified on the basis software simulations and measurements on site. It was suggested solution, in which critical areas comply the thermal technical requirements. The building envelope was checked also using the thermography imaging on site.

Continuous measurement of interior temperature was used to evaluate thermal comfort in the room.

In the completed buildings was tested airtightness of the building envelope, which revealed other critical areas of the building envelope. Critical areas are necessary to solve with sufficient care.

The economic cost of implementing each variants of exterior walls made of concrete shell block with internal thermal insulation were compared with the economic costs of implementing external walls made of burnt clay hollow blocks and made of burnt clay hollow blocks with external thermal insulation system ETICS. Subsequently, the economic return was calculated for individual variants of external walls made of concrete shell blocks with internal thermal insulation.

From the environmental viewpoint was made comparison of production greenhouse gas CO₂ and SO₂ (cause acid rains) during the life cycle of the individual variations of exterior walls made of concrete shell blocks with system of internal thermal insulation, exterior walls made of burnt clay hollow blocks and burnt clay hollow blocks with external thermal insulation system ETICS.